

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов

Направление подготовки Химическая технология

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование процесса гидроочистки дизельного топлива на лабораторной каталитической установке</b>

УДК 665.658:665.75

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТТ и ХК	Кривцова Надежда Игоревна	к.т.н, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.к.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

# ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), <b>CDIO(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)</b>
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), <b>CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)</b>
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), <b>CDIO (1.2, 2.1, 4.5)</b>
P4	Разрабатывать <b>новые</b> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <b>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</b>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) <b>CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7)</b>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), <b>CDIO (п. 2.2)</b>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <b>выводить на рынок новые материалы</b> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) <b>CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)</b>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), <b>CDIO (п. 2.5)</b>
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), <b>CDIO (п. 2.4)</b>
P9	<b>Активно</b> владеть <b>иностраннным языком</b> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), <b>CDIO (п. 3.2, 3.3)</b>
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <b>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</b> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) <b>CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1)</b>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов

Направление подготовки Химическая технология

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Юрьев Е.М.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Сабиеву Шынгысу Мусаевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	1749/С
---	--------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: дизельное топливо. Цель работы – исследование кинетики процесса гидроочистки дизельного топлива на лабораторной каталитической установке. Для достижения этой цели изучен процесс каталитической гидроочистки, а так же механизм протекания реакций. Были поставлены следующие задачи: 1.Формирование схемы превращения сернистых соединений в соответствующие углеводороды. 2.Нахождение энергии активации и зависимости степени гидроочистки от температуры и времени проведения процесса.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Процесс гидроочистки дизельного топлива: основная технологическая схема, катализаторы, химизм и механизм процесса. Постановка задачи исследования. Проведение процесса гидроочистки на лабораторной каталитической установке. Нахождение общего количества серы до и после проведения процесса гидроочистки. Создание упрощенной схемы превращений сернистых

	соединений. Расчет константы скорости, степени гидроочистки и энергии активации. Выявление зависимости между основными кинетическими параметрами. Выводы.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	нет
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент кафедры менеджмента, к.э.н., Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	профессор кафедры ЭБЖ, д.б.н., Ахмеджанов Рафик Равильевич
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Введение</li> <li>- Обзор литературы</li> <li>- Объект и методы исследования</li> <li>- Результаты проведенного исследования</li> <li>- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>- Социальная ответственность</li> <li>- Выводы</li> <li>- Список публикаций</li> <li>- Список использованных источников</li> </ul>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТТ и ХК	Кривцова Надежда Игоревна	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) Химическая технология

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.16	Введение	...
30.03.16	Отбор и анализ литературы	...
30.04.16	Эксперимент и обсуждение результатов	
15.05.16	Написание и оформление работы	
20.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
20.05.16	Социальная ответственность	
01.06.16	Выводы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТТ и ХК	Кривцова Надежда Игоревна	к.т.н, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ХТТ и ХК</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования моделирования процесса алкилирования бензола этиленом

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><b>Объект исследования</b> – дизельное топливо (фракция 180-350С°, прямогонная)</p> <p><b>Рабочая зона</b> – компьютерный класс</p> <p><b>Область применения</b> - нефтехимия</p>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p><b>1.1. Выявление вредных факторов в компьютерном классе (при разработке и эксплуатации научного исследования:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные вещества, освещение, производственный шум, вибрация;</li> </ul> <p><b>1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- микроклиматические условия</li> <li>- электробезопасность (токоведущие части электрооборудования);</li> <li>- вентиляция (способы вентиляции в научно-исследовательской лаборатории);</li> <li>- молниезащита производственных зданий и сооружений (при работе с электрооборудованием необходимо заземление);</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на</li> </ul>	<p>- вредные вещества, которые выделяются или используются вовремя производства через вентиляционную систему;</p>

<p>гидросферу (сбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>- химическое и биологическое загрязнение водотоков в результате удаления биологических, неорганических и органических отходов в канализационную сеть;</p> <p>- отходы;</p> <p>- разработаны решения по обеспечению экологической безопасности</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения- пожар, взрыв, разрушения зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясения;</p> <p>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий:</p> <p>1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла</p> <p>2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества</p> <p>3. организационная эвакуация работающих;</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)</p> <p>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Сабиев Шынгыс Мусаевич		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с., 14 рисунков, 30 таблицы, 65 источников, 1 приложение.

**Ключевые слова:** кинетическая модель, лабораторная каталитическая установка гидроочистки, серосодержащие соединения, гидроочистка, дизельное топливо, ЛГ-24/7.

Объектом исследования являются дизельное топливо, используемое на установке гидроочистки дизельного топлива ЛГ-24/7.

Цель работы – исследование кинетических закономерностей процесса гидроочистки на лабораторной каталитической установке.

В процессе исследования были найдено общее содержание серы, были рассчитаны константы скорости, степень гидроочистки, энергия активации для процесса при температурах 340, 360 и 380 градусов и времени проведения процесса 2,4,6 и 8 часов.

Научно-исследовательская работа направлена на изучение кинетических закономерностей, которые послужат основой для разработки рекомендаций по изменению технологических параметров процесса гидроочистки дизельного топлива для повышения эффективности реакций гидрообессеривания.

Степень внедрения: результаты работы были переданы для апробации на промышленную установку гидроочистки.

Область применения: моделирование процесса гидроочистки дизельного топлива, исследование и прогнозирование оптимального технологического режима работы промышленных установок.

В будущем планируется написание математической модели гидроочистки и компьютерной моделирующей системы с целью повышения точности рассчитываемых параметров, а также внедрение данного программного обеспечения в сфере улучшения технологии гидроочистки дизельного топлива

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1. Характеристика сырья и продуктов гидроочистки.....	13
1.2. Химизм процесса.....	16
1.3. Технологический процесс гидроочистки.....	20
1.4. Основные технологические параметры .....	23
1.5. Кинетика гидрообессеривания.....	29
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	34
2.1. Характеристика объекта исследования.....	34
2.2. Катализатор процесса .....	34
2.3. Описание технологической схемы каталитической установки для исследования процессов в условиях повышенных давлений.....	36
2.4. Проведение процесса гидроочистки дизельного топлив.....	36
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
3.1. Кинетическая модель процесса десульфирования дизельного топлива .....	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 50	
4.1. Введение.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.2. Предпроектный анализ .....	51
4.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	51
4.2.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	51
4.2.3. SWOT-анализ.....	53
4.2.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	54
4.2.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	55
4.3. Инициация проекта .....	56
4.3.1. Организационная структура проекта .....	56
4.4. Планирование управления научно-техническим проектом.....	57

4.4.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	57
4.4.2. План проекта.....	59
4.4.3. Бюджет научного исследования .....	60
4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	63
4.6. Накладные расходы.....	64
4.7. Формирование бюджета затрат научно исследовательского проекта ....	64
4.8. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	65
4.8.1. Оценка сравнительной эффективности исследования .....	65
5. Социальная ответственность .....	68
5.1. Введение.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.2. Основные опасности производства на установке гидроочистки .....	70
5.3. Безопасная эксплуатация производства.....	74
5.4. Требования к обеспечению взрывобезопасности технологических процессов .....	75
5.5. Санитарно-гигиенические условия труда.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	82
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	<b>8Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность.** Фракции получаемые при первичной переработке сернистых нефтей, не могут быть использованы как готовые нефтепродукты из-за присутствия в них сернистых, азотистых, кислородсодержащих и других соединений, которые снижают мощности двигателей и наносят огромный вред окружающей воздушной среде выделениями диоксидов серы, азота и других вредных веществ. Наилучшим способом очистки топлива от указанных соединений является процесс гидроочистки под давлением в присутствии катализаторов и водорода.

В настоящее время гидроочистке подвергают почти все нефтяные топлива, как прямогонные, так и вторичного происхождения: бензин, керосин, реактивное и дизельное топливо, вакуумный газойль. Процесс гидроочистки применяют также для облагораживания компонентов смазочных масел и парафинов.

Весьма существенным является улучшение технико-экономических показателей установок, что достигается повышением производительности труда, снижением себестоимости товарной продукции, сокращением энергетических затрат, удельного расхода металла, капиталовложений и эксплуатационных расходов.

**Целью дипломной работы** являлось исследование кинетических закономерностей протекания процесса гидроочистки дизельного топлива от серосодержащих соединений на лабораторной каталитической установке. Для достижения этой цели изучен процесс каталитической гидроочистки, а так же механизм протекания реакций.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи:**

### **Задачи исследования**

1. Проведение процесса гидроочистки на лабораторной каталитической установке при температурах 340, 360 и 380 градусов и времени процесса 2-8 часов.

2. Определение общего содержания серы в дизельном топливе до и после проведения процесса гидроочистки. Расчет константы скорости, степени гидроочистки и энергии активации при различных температурах и времени проведения процесса.

### **Методы исследования**

При выполнении работы использовались общие методы исследования и расчетов технологических процессов, методы математической статистики и теория управления.

Данная работа предполагает проведение анализа особенностей протекания процесса в реакторе, взаимосвязи технологических параметров и их влияния на характер процесса гидроочистки, непосредственно разработку рекомендаций для повышения эффективности протекания процесса гидроочистки дизельного топлива.

### **Практическая ценность работы**

Рассчитаны кинетические закономерности для исследуемого процесса, которые позволяют:

- Проводить приблизительные расчеты основных кинетических параметров для данного дизельного топлива;
- Написать математическую модель процесса гидроочистки и компьютерную моделирующую систему, с целью повышения точности рассчитываемых параметров.

## 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### *1.1. Характеристика сырья и продуктов гидроочистки*

В нефтепереработке процессы гидроочистки нефтяных фракций занимают одно из ведущих мест, что обусловлено высокими требованиями к качеству продукции - дизельным топливам.

Гидроочистка — одноступенчатый процесс, который проходит в наиболее мягких условиях, по сравнению с гидрокрекингом и деструктивной гидрогенизацией. Температура протекания процесса 350—430 °С, давление 3,0—6,0 МПа, циркуляция водородсодержащего газа 100—600 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья и объемная скорость 3—10 ч<sup>-1</sup> с применением катализатора.

Гидроочистка в наши дни является одним из основных методов облагораживания бензинов, дизельных и реактивных топлив, газойлей и т.п. Облагораживание - это удаление из сырья соединений, содержащих в своем составе серу, азот и кислород. Гетероатомные соединения, присутствующие в нефтяных фракциях, вызывают в двигателях повышенное коксо- и нагарообразование, увеличивают выбросы в атмосферу оксидов серы, а главное ухудшают качество товарных топлив.

Нефть, которая добывается у нас в стране, в основном относится к разряду сернистых и высокосернистых. Доля азот и кислородсодержащих соединений более чем на порядок ниже сероорганических соединений. Содержание серы в нефтях может достигать 3-10 масс. %. Количество серы при перегонке нефти возрастает с увеличением температуры кипения нефтяной фракции [1].

Из данных таблицы 1.1 следует, что наибольшее количество серы концентрируется в нефтяных остатках.

Таблица 1.1

## Распределение серы по фракциям нефтей


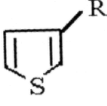
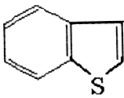
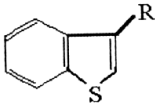
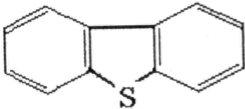
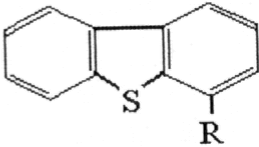
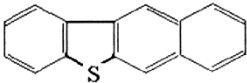
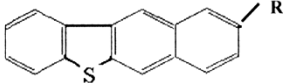
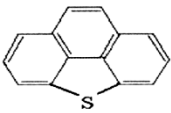
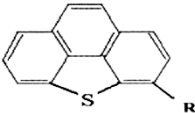
Содержание серы в нефти, масс. %	Фракция нефти				
	Бензиновая	Керосиновая	Дизельная	Вакуумный дистиллят	Остаток
Арланская, 3,04	0,12	0,35	2,51	3,71	4,47
Мухановская, 1,18	0,069	0,085	1,08	1,5	2,5
Усинская, 0,61	Следы	0,12	0,39	0,71	1,3
Самотлорская, 0,12	0,009	0,05	0,57	1,64	2,35
Шаимская, 0,46	0,04	0,06	0,14	0,62	1,25

В отдельных дистилятных фракциях содержание соединений, включающих в свой состав атомы серы, может достигать в отдельных более 15 масс. %. Вопрос выделения и квалифицированного использования сернистых соединений до конца не решен, поэтому в процессе гидроочистки они подвергаются разрушению. Состав сернистых соединений нефти представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2

## Сернистые соединения нефти

Группа соединений	Строение
Тиолы (меркаптаны)	RSH
Дисульфиды	RSSR*
Сульфиды	RSR*

Продолжение табл 1.2	
Тиофены	  и т.д.
Бензотиофены	  и т.д.
Дибензотиофены	  и т.д.
Бензонафтотиофены	  , и т.д.
Бензо-[def]-дибензотиофены	  , и т.д.

Керосиновые и дизельные фракции обогащены сульфидами и тиофенами различной структуры. В таблице 1.3 приведен групповой состав сернистых соединений нефтяных фракций Астраханского газоконденсатного месторождения[2].

Таблица 1.3

Распределение серы и сернистых соединений по фракциям

Соединения серы	Нефтяная фракция		
	НК-180°С	180-350°С	> 350 °С
Меркаптаны	0,09	0,18	-
Дисульфиды	0,02	-	-
Сульфиды	0,10	0,36	0,9
Тиофены	0,02	0,67	1,9
общая	0,23	1,21	2,8

Из таблицы 1.3 следует, что с ростом температуры кипения, помимо увеличения во фракции общей серы, происходит увеличение доли сульфидов и соединений тиофеновой структуры.



Среди тиофенов в дизельных топливах найдены соединения, представленные в таблице 1.4, где под индексами  $C_1$   $C_2$  и т.д. подразумевается число алифатических атомов углерода, связанных с коренным соединением[3] .

Таблица 1.4

Тиофены дизельных фракций

Тиофены	Пределы кипения, °С
Бензотиофен	220
$C_1$ - бензотиофены	221-260
$C_2$ - бензотиофены	260-279
$C_4$ - бензотиофены	279-306
$C_{4+}$ - бензотиофены	306-332
Дибензотиофен	333
$C_1$ -дибензотиофен	335-362
$C_2$ - дибензотиофен	362-382
4,6 - диметилдибензотиофен	366
$C_{3+}$ - дибензотиофены	382

Относительные количества разных тиофеновых соединений в сырье для дизельного топлива значительно различаются в зависимости от природы нефти, фракционного состава сырья и предшествующей каталитической или термической обработки сырья. Реакционная способность подвергаться гидрогенолизу для этих соединений также различна.

Тип углеводородного сырья, температура процесса, парциальное давление водорода и его кратность циркуляции, объемная скорость подачи сырья и от других факторов зависит глубина гидроочистки дистиллятов от серы и других соединений .

Степень очистки сырья в заданных условиях процесса снижается, с его утяжелением. В соединения с увеличением средней молярной массы доля серы, которая в ней содержится в устойчивых относительно гидрирования структурах, увеличивается. Чем выше средняя молекулярная масса и вес сырья, соответственно всё большая его часть находится в условиях

гидроочистки в жидкой фазе, что затрудняет транспортировку водородсодержащего газа к поверхности катализатора. При жидкофазной гидроочистке с увеличением массы сырья скорость диффузии водорода снижается через плёнку жидкости на катализаторе, так как с увеличением вязкости, снижается растворимость водорода при данных условиях. Увеличение количества полициклических ароматических углеводородов, смол и асфальтенов в сырье, обладающих высокой устойчивостью относительно гидрирования и прочно адсорбирующихся на катализаторе, также снижается глубина очистки. Качество получаемой продукции должно соответствовать показателям, приведенным ниже [4].

Таблица 1.5

### Показатели качества продукта

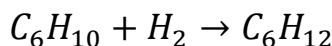
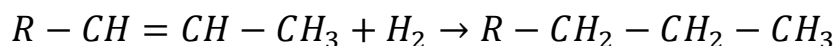
Показатели качества продукта: Фракция дизельного топлива гидроочищенная	
Содержание воды и механических примесей	Отсутствие
Фракционный состав	
50% отгоняется при температуре не выше	280°C
90% отгоняется при температуре не выше	340°C
96% отгоняется при температуре не выше	360°C
Сероводородная коррозия	Отсутствие
Испытание на медной пластинке	Выдерживает
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °C Не ниже	62
Массовая доля общей серы, ppm масс. Не более	10
Азот, ppm масс. Не более	20
Йодное число, гр/100гр.	0,5
Плотность, кг/м <sup>3</sup> Не более	834
Применяется как компонент дизельного топлива.	
Показатели качества продукта : сероводород	
Содержание сероводорода, % объемных, не менее	98,0
Применяется в качестве сырья для производства серной кислоты.	
Показатели качества продукта: бензин-отгон	
Температура начала кипения, °C	Не ниже 40
Температура конца кипения, °C	Не выше 180
Содержание воды и механических примесейS	Отсутствие
Испытание на медную пластинку	Выдерживает
Применяется как компонент автомобильных бензинов.	

## 1.2 Химизм процесса

В отличие от других гидрогенизационных процессов гидроочистку осуществляют в сравнительно мягких условиях, поэтому превращение затрагивает, в основном, неуглеводородные компоненты. Для гидроочистки характерны следующие реакции [11][12][13]:

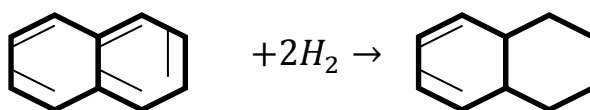
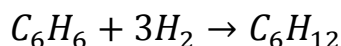
а) для углеводородных компонентов:

– насыщение непредельных углеводородов



При 350–450<sup>0</sup>С наблюдается почти полное гидрирование непредельных углеводородов при относительно низком парциальном давлении водорода;

– насыщение ароматических колец на примере бензола и нафталина:

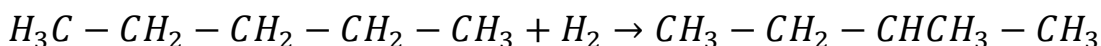


Сколько-нибудь значительное гидрирование бензольного кольца при использовании алюмокобальтмолибденового катализатора не наблюдается;

- крекинг алканов и циклоалканов . Возможность протекания этих реакций возрастает с увеличением температуры и давления ;

- деалкилирование алкилбензолов;

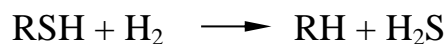
- гидроизомеризация алканов



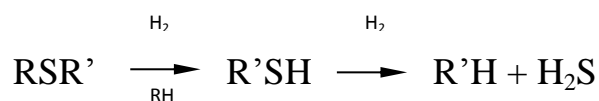
б) для неуглеводородных компонентов:

Гидрогенолиз сернистых соединений. Все серосодержащие соединения подвергаются гидрогенолизу до сероводорода и соответствующих углеводородов:

Меркаптаны превращаются в углеводород и сероводород:



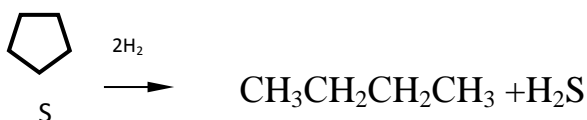
Сульфиды гидрируются через стадию образования меркаптанов:



Дисульфиды гидрируются до сероводорода и соответствующих углеводородов также через стадию образования меркаптанов:



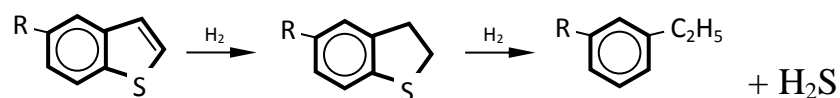
В циклических сульфидах, например тиофане, вначале разрывается кольцо, затем отщепляется сероводород и образуется соответствующий углеводород:



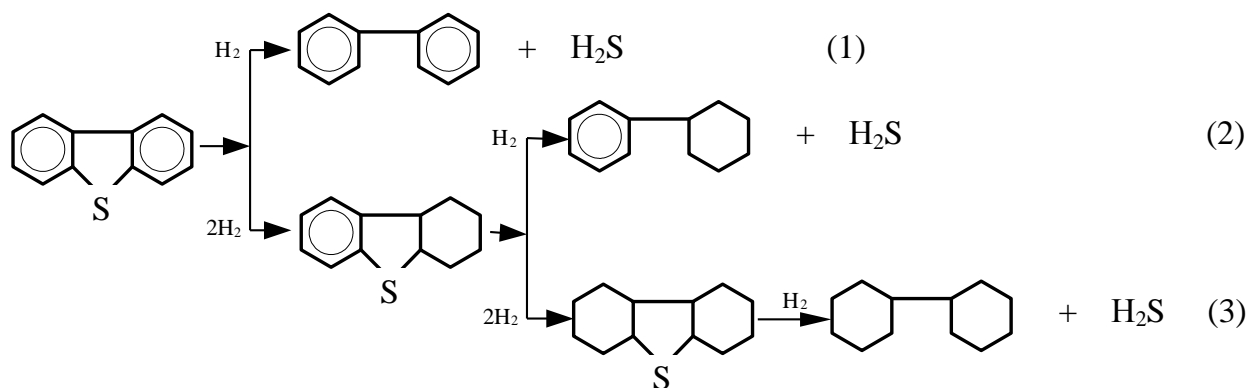
Соединения тиофенового ряда представлены сбензтиофеном, дибензтиофеном, алкилбибензтиофенами и диалкилдибензтиофенами – смалоактивны. Их доля в составе серусодержащих соединений дизельных фракций достигает 50 – 60 %, что в пересчете на серу при общем ее содержании около 1,2 %(масс.) составляет 0,3 – 0,7 %(масс.). Устойчивость сераорганических соединений к гидрогенолизу с увеличением числа ароматических и нафтеновых колец в его молекуле возрастает.

Бензотиофен и тиофен в первую очередь гидрируются до производных тетрагидротиофена, которые затем превращаются алканы и алкилпроизводные ароматических углеводородов:





Гидрогенолиз дибензтиофена происходит по схеме:



По реакции (1) преимущественно на алюмокобальтмолибденовом катализаторе происходит гидрогенолиз дибензтиофена, а по реакции (2) и (3) – на алюмоникельмолибденовом катализаторе.

Сернистые соединения становятся устойчивее в ряду [13][14][11]:

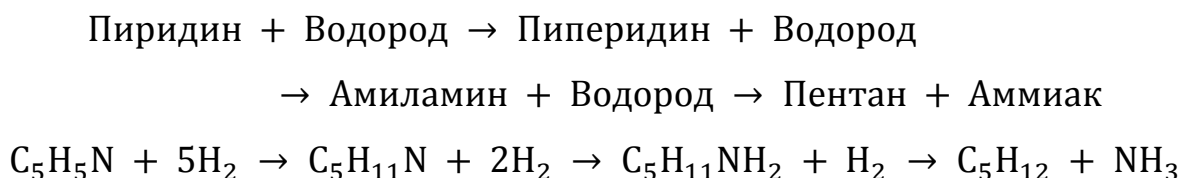
Меркаптаны → Дисульфиды → Сульфиды → Тиофены → Бензтиофены  
→ Дибензотиофены

Более высокая молекулярная масса внутри отдельной группы сернистых соединений способствует снижению скорости обессеривания. Металлические и оксиднометаллические катализаторы взаимодействуют с сернистыми соединениями, переводя их в сульфидную форму. В зависимости от состава катализатора это приводит к его активированию или вызывает отравление и дезактивацию.

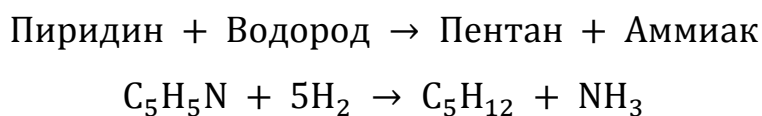
Базовые реакции гидрогенолиза могут использоваться в ряде случаев, отличных от простого гидрообессеривания. Например, в процессе гидроочистки присутствуют эффекты гидродеазотирования и насыщения непредельных углеводородов, что может активно эксплуатироваться для улучшения качества топлива.

Гидрогенолиз применяется для снижения содержания азотистых соединений в сырье или дизельной фракции. Процесс удаления азота происходит в целом так же, как и процесс удаления серы.

Используя пиридин ( $C_5H_5N$ , азотсодержащее соединение, которое находится в некоторых продуктах фракционирования) в качестве примера, можно показать трёхступенчатую реакцию его разложения[15][16]:



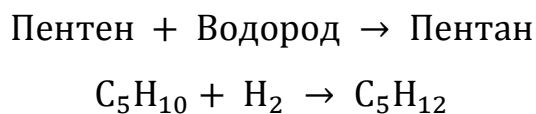
В сокращённом виде:



Считается, что любая установка гидрообессеривания параллельно производит процесс деазотирования углеводородного сырья.

Реакция гидрогенолиза также успешно используется для насыщения непредельных углеводородов (олефинов или алкенов) до парафинов (алканов). Процесс похож на гидрообессеривание за тем исключением, что здесь не выделяется сероводород.

Насыщение пентена (пятиуглеродного олефина) может быть упрощённо описано уравнением



Аппараты гидрогенолиза в пределах нефтеперерабатывающей установки могут использоваться исключительно для насыщения олефинов или могут быть использованы для одновременного обессеривания, а также деазотирования и насыщения олефинов до некоторой степени.

### ***1.3 Технологический процесс гидроочистки***

Процесс ее функционирования технологической схемы кратко можно описать следующим образом.(Приложение А)

Сырье I – центробежным насосом 11-1 фракция 180-360°C подается в теплообменник 3, где она нагревается теплом стабильного ДТ, который поступает из нижней части колонны стабилизации 10.

С процесса риформинга бензина поступает свежий ВСГ. Его часть направляется для нагрева в печи 1, и затем используется в колонне 10, где снижается парциальное давление паров ДТ, а оставшаяся другая часть смешивается с рециркуляционным ВСГ.

Смесь, которая образуется после теплообменника 3 подается на смешение с нагретой фракцией ДТ. Циркуляционный ВСГ является только частью общего рециркуляционного потока, выделившегося в результате очистки моноэтаноламина (МЭА) в абсорбере 13. Неиспользованный рециркуляционный ВСГ смешивается с топливным газом в виде отдува. Образованная смесь в дальнейшем сжигается в печи 1.

Смесь фракции ДТ и ВСГ нагревается на выходе из реактора в теплообменнике 4 потоком газо-продуктовой смеси и направляется в печь 1. В дальнейшем осуществляется нагрев смеси потоком. Компрессором 11-2 в печь подается воздух для осуществления горения смеси топливного газа и рециркуляционного ВСГ. Подогретая смесь после печи попадает в реактор 2, где преобразуется в газопродуктовую смесь, состоящую из бензина, газа, ДТ, воды, сероводорода и аммиака. Газо-продуктовая смесь отдает свое тепло вновь поступившей газо-сырьевой смеси, на выходе из реактора и подается в горячий сепаратор 5.

Для нагрева гидрогенизата из холодного сепаратора 9 и получения водяного пара для его потребления в ребойлере 26 используется парогазовая смесь из горячего сепаратора 5. Далее последовательно в воздушном 7 и водяном 8 холодильниках смесь газа и нефтепродукта охлаждается и

поступает в холодный сепаратор 9, где рециркулирующий ВСГ отделяется от содержащего в нем сероводорода. Предварительно нагретый в теплообменнике 6 парогазовой смесью, направляемой из горячего сепаратора 5, гидрогенизат из холодного сепаратора 9 смешивается с потоком XV и подается в стабилизационную колонну 10. В абсорбере 13 циркулирующий ВСГ подвергается очистке от сероводорода водным раствором МЭА. Часть рециркуляционного ВСГ при возвращении отдувается в топливную сеть к топливным газам, а другая часть перед сепаратором 29 смешивается со свежим ВСГ. Это необходимо для поддержания перед компрессором 11-3 нужной (не менее 70 % об.) концентрации водорода в ВСГ.

В колонне 10 выделяется смесь, содержащая углеводородные газы, отгон-бензин, сероводород, а также стабильное ДТ с требуемой температурой вспышки. Для поддержания требуемой температуры вспышки на верхнюю тарелку колонны 10 подается углеводородная смесь, состоящая из сероводорода и бензина.

Тепловой режим колонны 10 обуславливается теплотой входящих парожидкостной смеси и свежего ВСГ, и углеводородной смеси. В теплообменнике 3 и воздушном холодильнике охлаждается стабильное ДТ, выходящее из нижней части колонны, после чего выводится с установки в товарный парк.

На верху колонны 10 в сепараторах 16, 30 отбирается углеводородный газ с сероводородом, и бензин с сероводородом; часть потока возвращается обратно в колонну 10 с целью получения ДТ с заданной температурой вспышки. Другая часть смешивается с жидкой фазой сепаратора 30, и поступает в отгонную колонну 18 для отдува из нее сероводорода. В отгонной колонне 18 отдув сероводорода из бензина осуществляется очищенным газом. Бензин откачивается с установки насосом 11-4 и используется в качестве сырья в процессе каталитического риформинга бензинов.



Работу блока очистки газов характеризуют колонны 13, 17-19, 22. Рециркуляционный ВСГ очищается от сероводорода в колонне 13. Угледородный газ очищается в колонне 17. В колонне 19 очищается углеводородный газ после отгонной колонны 18. Во всех выше перечисленных колоннах очистка газов осуществляется водным раствором МЭА. В результате процесса абсорбции, в аппаратах 13, 17, 19, в нижней части колонн образуются потоки, которые состоят из сероводорода и МЭА. Для повторного использования МЭА, данные потоки после объединения в один поток направляются на регенерацию. Раствор МЭА, насыщенный кислыми газами дегазируется при пониженном давлении в аппарате 20 и направляется в отгонную колонну 22 на десорбцию. Циркулирующим через термосифонный паровой ребойлер 26 раствором МЭА поддерживается температурный режим в колонне 22. Антивспениватель подается на тарелки адсорберов для предотвращения вспенивания раствора МЭА. В результате процесса десорбции смесь МЭА и сероводород распадается на два продукта - МЭА и сероводород. Сероводород, который выделится из раствора МЭА направляют в «процесс Клауса» для производства элементарной серы, а часть его - на установку производства серной кислоты и олеума, а также утилизации кислого гудрона.

Выделившийся МЭА используется заново в процессе очистки газов от сероводорода в колоннах 13, 17, 19. Для поддержания нужной концентрации в водном растворе МЭА добавляется насосом 11-5 свежий МЭА. Образовавшийся водный раствор расходуется на питание колонн 13, 17, 19 насосами 11-6, 11-7.

Основными элементами в технологической цепи являются реакторный блок, состоящий из аппаратов; сепаратор высокого давления 5; блок холодной сепарации - аппараты 6-9; блок стабилизации ДТ - аппараты 10, 14-16; блок очистки газов - аппараты 13, 17—25. На основании анализа движения сырья и продуктов по всей установке можно составить структурную схему взаимосвязей вышеперечисленных блоков [5].

#### ***1.4 Основные технологические параметры***

К основным параметрам процесса гидроочистки дизельного топлива относятся температура, количество циркулирующего водородсодержащего газа и содержание в нем водорода, объёмная скорость подачи сырья и давление.

Оптимальная температура гидроочистки зависит от качества сырья, от условий ведения процесса, активности катализатора и находится в пределах 340 – 400 °С.

Нижний предел температуры очистки определяется в этом случае возможностью конденсации тяжелых фракций сырья и появлением жидкой фазы, что резко замедляет гидрирование [6].

С увеличением температуры при постоянных остальных параметров процесса, степень гидрирования сернистых соединений и непредельных углеводородов увеличивается, достигая максимальной величины при температуре 420°С. Глубина гидрирования сернистых соединений снижается незначительно при дальнейшем увеличении температуры, а непредельных углеводородов – довольно резко.

На рисунке 1.1 показано влияние температуры на гидроочистку смеси фракций 200 – 350°С прямогонной и дистиллята каталитического крекинга в соотношении 1:1. Исходное сырьё содержало 1,3% мас. серы, 33% об. сульфорируемых углеводородов, имело йодное число 12 и цетановое число 45. Процесс проводили на алюмокобальтмолибденовом катализаторе [7].

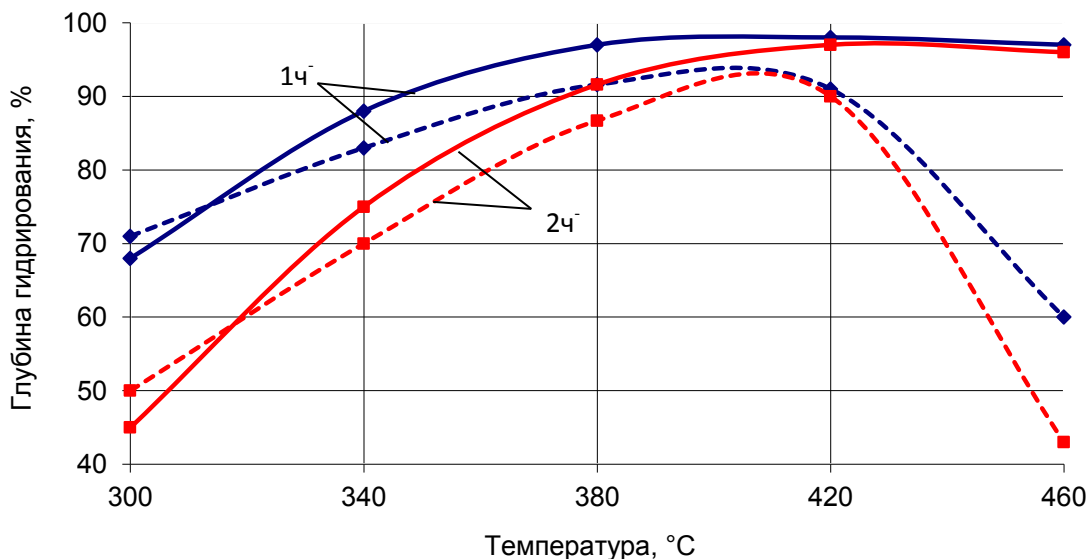


Рисунок 1.1 – Влияние температуры на глубину гидрирования сернистых соединений и непредельных углеводородов при гидроочистке смеси дистиллятов прямой перегонки и каталитического крекинга.

пунктирные линии – непредельные углеводороды; сплошные линии – сернистые соединения.

По мере увеличения температуры с 300 до 380 – 420°C содержание сульфидирующихся углеводородов в гидрогенизате снижалось с 33 до 30 – 31 % об., а при дальнейшем повышении температуры до 460°C несколько увеличивается вследствие частичного дегидрирования нафтеновых углеводородов.

О влиянии температуры на глубину деароматизации можно судить по данным рисунка 1.2.

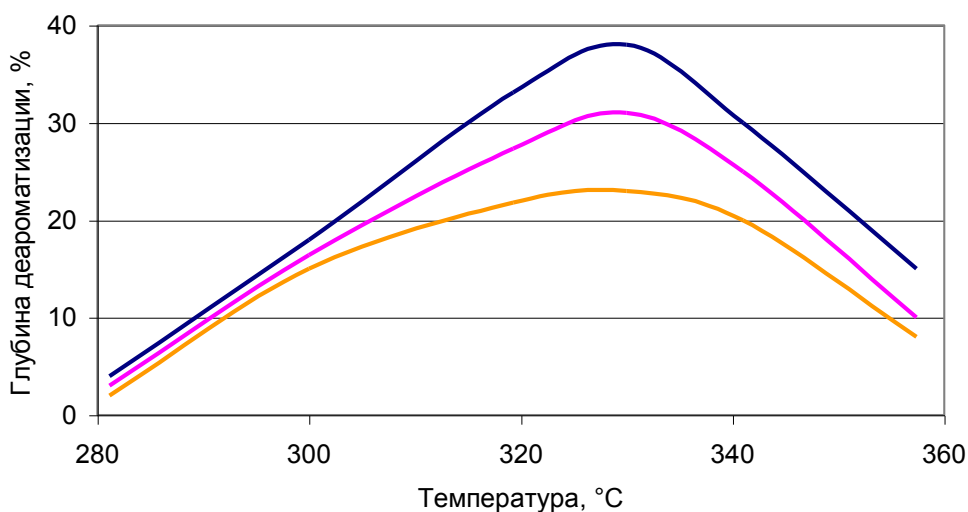


Рисунок 1.2 – Зависимость глубины деароматизации от температуры при разной объёмной скорости подачи сырья.

Исследования проводились на катализаторе обладающем дополнительной гидрокрекирующей активностью, предназначенного для деароматизации прямогонного дизельного топлива. Они позволили выявить оптимальные значения технологических параметров. Оптимальная температура процесса составляет 330°C. При ней достигается максимальная глубина деароматизации (рисунок 1.1). Существование максимума обусловлено снижением констант химического равновесия реакций гидрирования при увеличении температуры.

При гидроочистке фракций дизельного топлива повышение общего давления при заданном соотношении водород : сырьё увеличивает глубину очистки до тех пор пока сырьё находится преимущественно в газовой фазе, дальнейшее повышение давления ухудшает результаты процесса за счёт диффузионных ограничений. При заданном общем давлении и повышении соотношения водород : сырьё результаты очистки улучшаются до полного испарения сырья; при наличии жидкой фазы транспортирование водорода к поверхности катализатора обычно является лимитирующей стадией процесса и повышение парциального давления водорода увеличивает скорость диффузии за счёт уменьшения доли сырья, находящегося в жидкой фазе, т.е. уменьшения толщины плёнки жидкости на поверхности (рисунок 1.3).

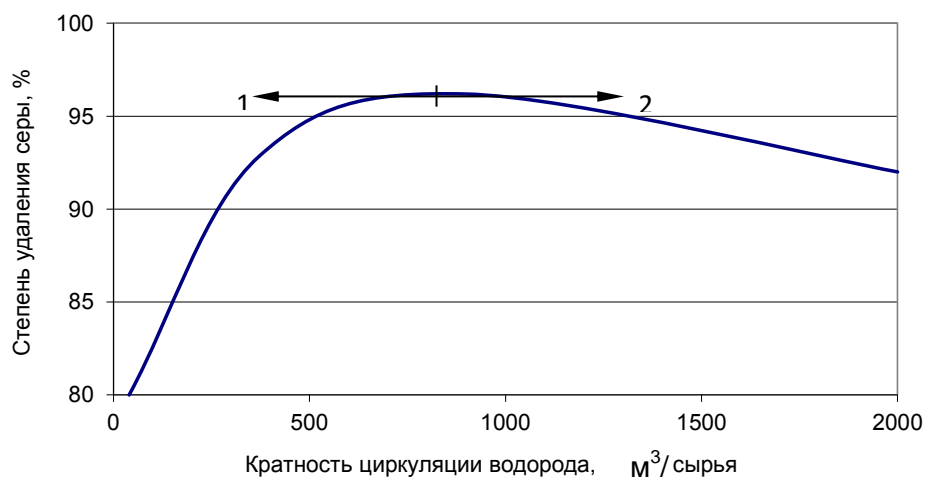


Рисунок 1.3 – Влияние кратности циркуляции водорода на полноту обессеривания газойля 200 – 350°С прямой перегонки

1 – жидкофазный процесс; 2 – газофазный процесс.

При гидроочистке дистиллятов вторичного происхождения – газойлей каталитического крекинга и коксования – глубина обессеривания, равная 90%, достигается при парциальном давлении водорода около 2 – 3 МПа. Однако эти продукты имеют низкие цетановые числа. Для получения дизельного топлива с цетановым числом не менее 45 требуется изменение условий гидроочистки и в первую очередь величины парциального давления водорода, т.е. необходим процесс гидрирования.

На рисунке 1.3 приведены основные результаты гидроочистки фракции 200 – 350°С газойля каталитического крекинга, имеющего следующую характеристику: содержание серы – 1,53 %(масс.), количество сульфидирующихся углеводородов – 47 %(об.), йодное число – 47, цетановое число – 37. Гидроочистку проводили на алюмокобальтмолибденовом катализаторе при температуре 380°С и объемной скорости подачи сырья -  $1,0 \text{ ч}^{-1}$ .

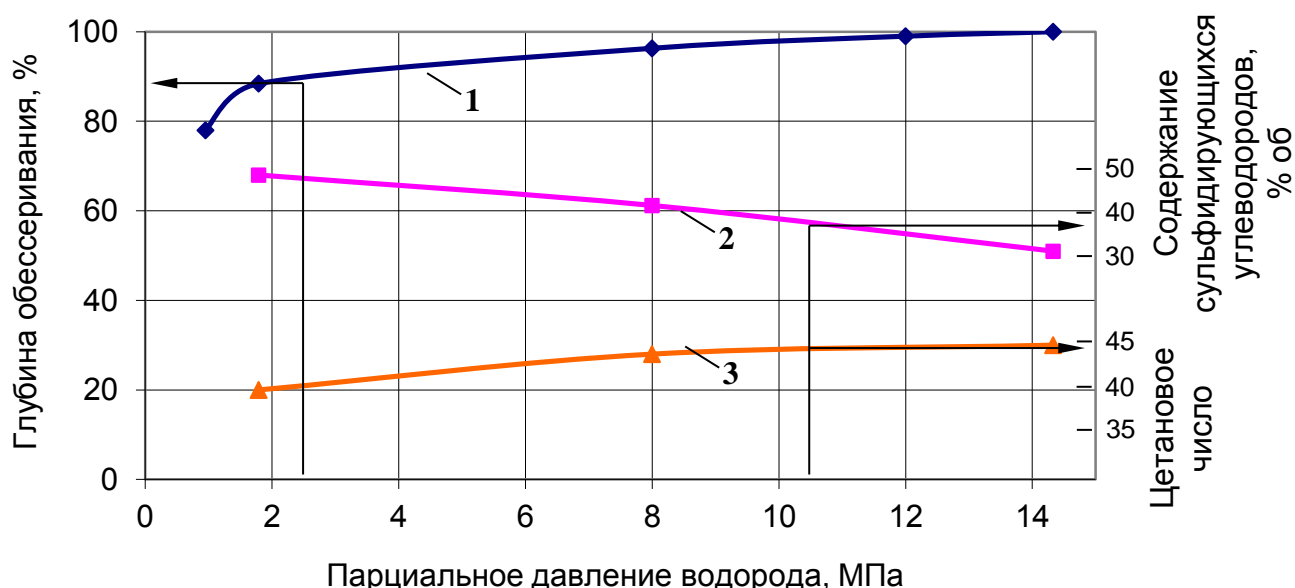


Рисунок 1.4 – Влияние парциального давления водорода на глубину гидроочистки газойля каталитического крекинга.

1 – глубина обессеривания; 2 – содержание серы;  
3 – цетановое число

Из рисунка 1.4 видно, что глубина обессеривания продукта, равная 90% (содержание серы 0,15 – 0,2 %(масс.)), достигается при парциальном давлении водорода около 2 МПа, т.е. гидрообессеривание протекает достаточно полно в условиях, аналогичных условиям гидроочистки прямогонных фракций [8].

Смеси дистиллятов прямой перегонки и вторичного происхождения можно получить при гидроочистке низкосернистого и достаточно высокоцетанового топлива. В этом случае при парциальном давлении водорода 3 – 3,5 МПа достигаются достаточно приемлемые результаты, т.е. облагораживание таких смесей можно проводить на промышленных установках гидроочистки, рассчитанных на общее давление 5 МПа .

Объёмную скорость подачи сырья в зависимости от его качества, требуемой глубины очистки и условий процесса может изменяться в очень широких пределах – от 0,5 до 10 ч<sup>-1</sup>. Для тяжёлого сырья и сырья вторичного происхождения объёмная скорость наименьшая.

Изменение степени гидрирования непредельных углеводородов в интервале объёмных скоростей подачи сырья от 1,0 до 15,0 ч<sup>-1</sup> при общем давлении 4 МПа и подаче газа, содержащего 65 %(об.) водорода, 500 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья происходит по сравнению с гидрированием сернистых соединений более плавно. При температуре около 300°С скорости гидрирования непредельных углеводородов и сернистых соединений примерно одинаковы, при более высоких температурах скорость гидрирования сернистых соединений выше [9].

### 1.5 Кинетика гидрообессеривания

Имеется значительное количество работ по изучению кинетики гидрообессеривания индивидуальных сероорганических соединений. Однако часто эти исследования проводились в условиях далеких от реальных, используемых в промышленности.

Так, в интервале 235-265 °С изучали гидрирование тиафена в присутствии  $H_2S$  при давлении, близком к атмосферному, и определяли скорости гидрогенолиза тиафена  $r_T$  и гидрирования бутена  $r_B$ :

$$r_T = \frac{K \cdot P_T \cdot P_{H_2}}{(1 + K_T P_T + K_{H_2S} \cdot P_{H_2S})^2},$$

$$r_B = \frac{K' \cdot P_B \cdot P_{H_2}}{(1 + K'_B \cdot P_B + K'_{H_2S} \cdot P_{H_2S})},$$

где  $P_T$ ;  $P_B$ ;  $P_{H_2}$ ;  $P_{H_2S}$  - парциальные упругости тиафена, бутена, водорода и сероводорода [23].

Из уравнений следует, что сероводород ингибирует как гидрогенолиз, так и гидрирование. Бутен и тиафен конкурируют с  $H_2S$  при адсорбции. Приведенные скорости реакций имеют первый порядок по водороду.

При исследовании кинетики реальных видов сырья было получено следующее уравнение:

$$r = \frac{\alpha_2 \cdot K_2 \cdot P_{H_2} \cdot C_S}{1 + K_{H_2} \cdot P_{H_2} + K_{H_2S} \cdot P_{H_2S} + K_{AG} \cdot P_{AG}},$$

где  $\alpha_2$  и  $K_2$  - фракция неактивных серосодержащих соединений и их константа скорости.  $\alpha_2$  и  $K_2$  следует определять для каждой нефтяной фракции. При этом отмечено ингибирующее влияние не только  $H_2S$ , но и ароматических соединений (составляющая  $K_{AG} \cdot P_{AG}$ ). Гидрообессеривание имеет первый порядок по водороду при низких значениях парциальных давлений и нулевой - при высоких.



В ряде случаев установлено, что экспериментальные результаты хорошо описываются кинетическим уравнением второго порядка по содержанию серы.

$$\frac{S_0 - S}{S} = K \frac{1}{V},$$

где  $S_0$  и  $S$  - содержание серы в сырье и продукте очистки соответственно;  
 $K$  - константа скорости;  $V$  - объемная скорость подачи сырья.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к снижению серы в дизельных топливах до 10 ppm и менее [24].

В дальнейшем весь дизельный автотранспорт предполагается перевести на топливо с нулевым содержанием серы. Это будет возможно при переходе на новые прогрессивные катализаторы и на установки, работающие при давлениях выше 5 МПа.

Насыщение и гидрогенолиз дибензотиофеновых структур в этих новых условиях протекает быстро.

Кинетическое уравнение для этого случая рекомендовано следующее:

$$\frac{S_0}{S} - 1 = \frac{K \cdot e^{-E/RT} \cdot P_{H_2}^{1/2}}{V},$$

где  $S_0$  и  $S$  - содержание серы (масс. %) в сырье и продукте очистки соответственно;  $K$  - константа скорости псевдовторого порядка;  $E$ ,  $R$  - энергия активации и газовая константа соответственно;  $p_{H_2}$  - парциальное давление водорода;  $V$  - объемная скорость подачи сырья;  $T$  - абсолютная температура,  $K$ .

Снижение содержания серы в дизельном топливе ниже 10 ppm могут обеспечивать каталитические системы, преодолевающие пространственные затрудненности дибензотиофеновых соединений [25].

Рисунок 1.7 показывает преимущества в получении бессернистых топлив с использованием оптимальных каталитических систем по сравнению с CoMo и NiMo катализаторами.

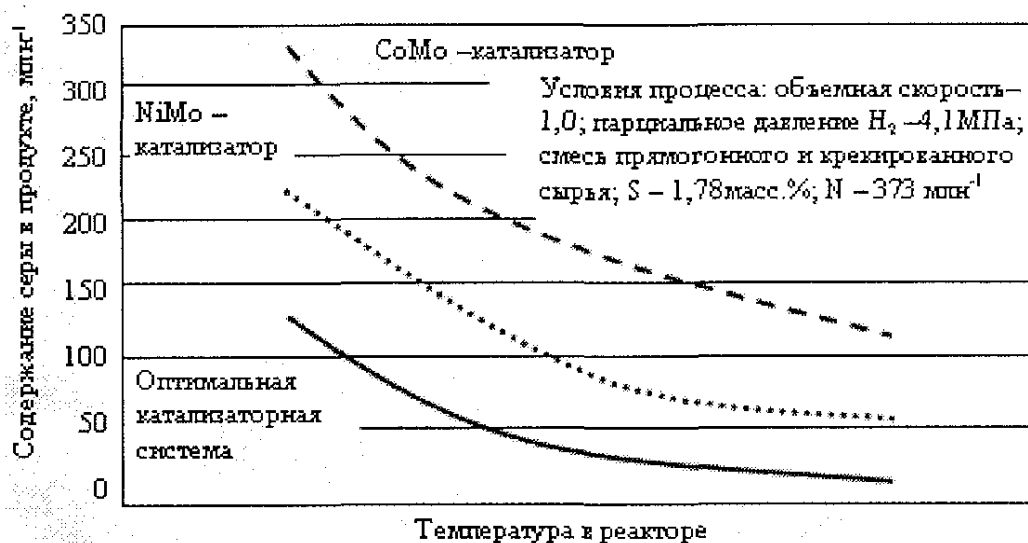


Рисунок 1.7 Оптимизация обессеривания с помощью различных каталитических систем

Следует, однако, заметить, что полная очистка от сернистых соединений как реактивных, так и дизельных топлив приводит к их химической нестабильности. Так, в реактивных топливах увеличивается образование осадков. При применении бессернистых дизельных топлив износ цилиндропоршневой группы двигателя может возрасти в 3 раза по сравнению с контрольным образцом топлива, содержащим серу [26].

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования в рамках данной научной работы является дизельное топливо (фракция 200-360 °С) с общим содержанием серы 1,043 % мас.

Таблица 2.1 – Исходная характеристика дизельного топлива

№	Наименования показателя	Значение
1	Цетановое число	48
2	Плотность при 15 °С, кг/куб.м	845
3	Содержание серы, вид I, % масс.	1,043
4	Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	506
5	Кинематическая вязкость при 40 °С, кв. мм/с	4,24
6	Фракционный состав: <ul style="list-style-type: none"><li>• при температуре 250 °С , % (по объему)</li><li>• при температуре 350 °С, % (по объему),</li><li>• при температуре 354 °С, % (по объему)</li></ul>	36 81 95

Данная фракция служила объектом для установления кинетических параметров процесса каталитического десульфирования в процессе ее гидроочистки.

### 2.2 Катализатор процесса

В качестве катализатора процесса гидроочистки был выбран промышленный алюмоникельмолибденовый катализатор ГКД-202, предназначенный для использования в процессах глубокой гидроочистки

дизельных фракций нефтяного происхождения (производитель – ООО «Новокуйбышевский завод катализаторов»).

Таблица 2.3 – Характеристика катализаторов гидроочистки дистилятных фракций

Показатель	ГКД-202
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,55-0,75
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	
Содержание, % масс,:	
CoO	12,0
NiO	2,2
MoO <sub>3</sub> , не менее	13,0
Na <sub>2</sub> O, не менее	0,4
Носитель	активный оксид алюминия
Диаметр гранул, мм	1,5 – 2,2
Прочность, кг /мм	Не менее 2,0
Относительная активность по обессериванию, не менее, усл.ед.	92

### ***2.3 Описание технологической схемы каталитической установки для исследования процессов в условиях повышенных давлений***

Экспериментальная установка предназначена для исследования процессов, протекающих в условиях повышенного давления в проточном режиме, при максимальном давлении 90 бар и максимальной температуре 700 °С.

Технологическая схема установки представлена на рисунке 2.1

Азот в реакторной системе необходим для продувки системы, разбавления реакционной смеси и проведения теста на герметичность.

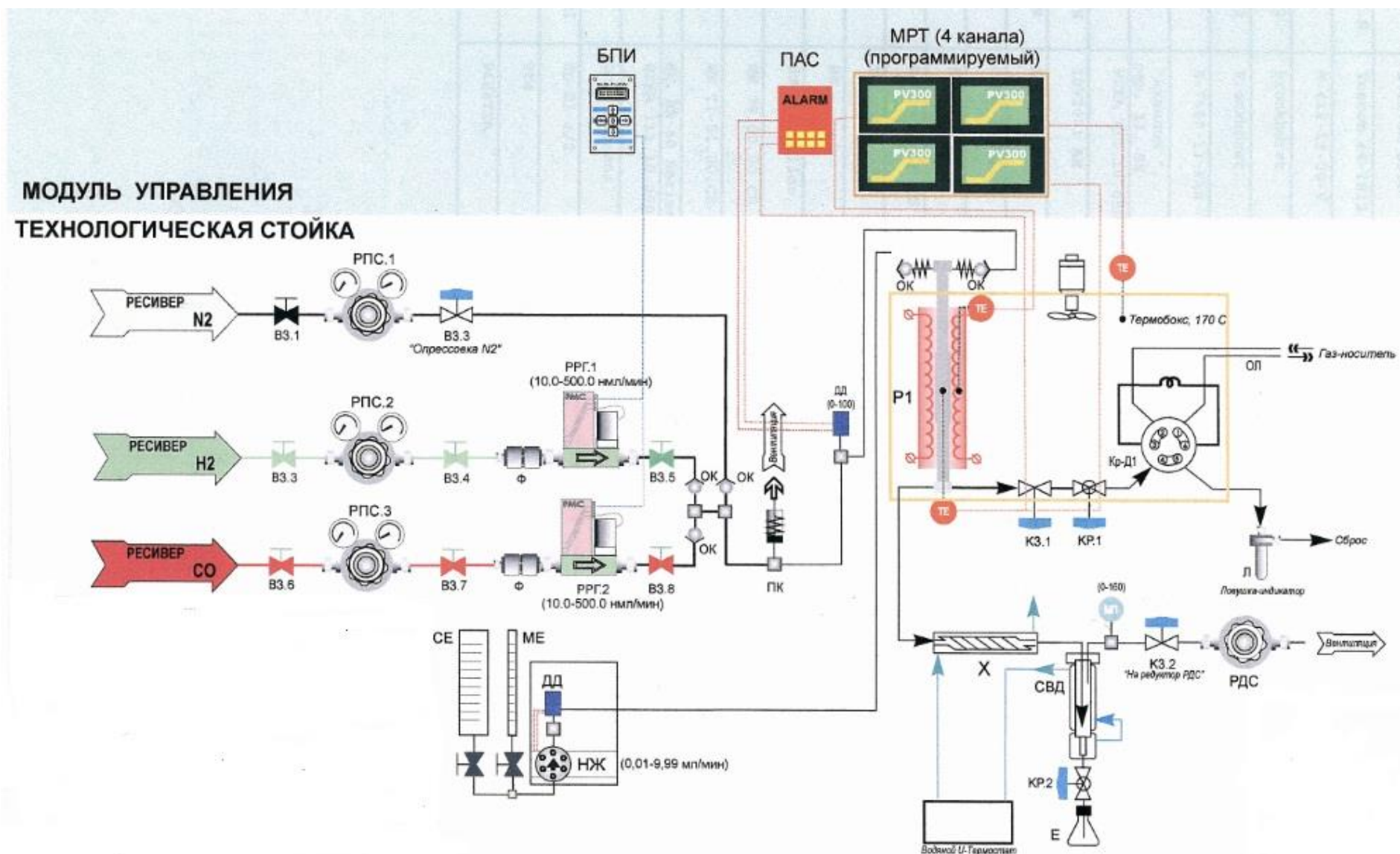


Рисунок 2.1 Технологическая схема каталитической установки для исследования процессов в условиях повышенных давлений

Подается азот из баллона и при помощи ручки регулятора давления РПС.1 выставляется необходимое давление, которое контролируется по манометрам, установленным в корпусе регулятора и, далее, через вентиль ВЗ. 1 подается в реакторную систему.

Водород используется в системе как газовый реагент и подается аналогично азоту из баллона, через вентиль запорный ВЗ. 3, регулятор давления РПС. 2, вентиль запорный ВЗ.4 и противопыльный фильтр Ф на регулятор расхода газа РРГ1.

Далее водород, через запорный клапан ВЗ.5, через обратный клапан (ОК) подается в каталитический реактор.

На линии подачи смеси водорода и азота установлены цифровой датчик давления ДД соединенный с прибором аварийной сигнализации ПАС и пружинный предохранительный клапан ПК. На датчике давления ДД устанавливаются нижний и верхний предел давления, которые должны соответствовать рабочему давлению – 10% от рабочего по нижнему пределу и + 10% по верхнему. В случае какой-либо нештатной ситуации на установке по превышению давления или понижению (разрыву трубопровода) внутренние контакты датчика давления замыкаются, и устройство ПАС обесточивает питание на установку, регуляторы расхода газа РРГ. 1,2 перекрывают подачу газов, тем самым предотвращая аварийную ситуацию. Предохранительный клапан ПК также необходим для предотвращения аварийной ситуации при превышении давления в реакторной системе более чем 100 бар.

Жидкий исходный реагент из сырьевой емкости СЕ и мерной емкости МЕ, которые через шаровые вентили могут подключаться к реакторной системе как индивидуально, так и параллельно подается на жидкостный насос НЖ, работающий без пульсаций. На установке имеются две дозировочные емкости: одна, мерная МЕ ( ~ 50 мл), для калибровки, проверки работоспособности жидкостного насоса и для проведения

кратковременных экспериментов, другая, емкостью СЕ (2000 мл), для дозирования сырья при длительных и круглосуточных испытаниях.

Реакторный блок состоит из реактора, электрической печи и системы обратных клапанов. Реактор представляет собой трубу из нержавеющей стали, с внутренним диаметром 12 мм, максимальный объем загружаемого катализатора 7,0 см<sup>3</sup>. Обогрев реактора обеспечивает однозонная электрическая печь, позволяющая поддерживать температуру по слою катализатора с погрешностью  $\pm 5$  °С. Реакторный блок снабжен контролирующей термопарой, расположенной в слое катализатора.

Блок разделения продуктов состоит из прямоточного холодильника и сепаратора высокого давления.

После разделения продуктов, в сепараторе высокого давления, конденсат сливается через клапан регулирующий КР.2 в приемник конденсата Е.

Через боковой штуцер выходят Газовые продукты из сепаратора высокого давления СВД, клапан запорный К.2, редуктор обратного давления РДС в вытяжную вентиляцию и в систему аналитического контроля.

Таблица 2.4 – Технические характеристики установки

Параметр	Ед. измерения	Значение
Максимальное давление	бар	90
Диапазон регулирования расходов по водороду	н.мл/мин	10-500
Диапазон регулирования расходов по жидкости	мл/мин	0,01-9,99
Диапазон температур реактора	°С	50-700



Внутренний диаметр реактора	мм	12
Максимальная загрузка образца катализатора	см <sup>3</sup>	7,0
Количество реакционных контуров	-	1
Габаритные размеры термоблока	мм	600*400*350
Диапазон температур в термоблоке	°C	50-170
Напряжение питания	vac	220

#### ***2.4 Проведение процесса гидроочистки дизельного топлива***

На лабораторной каталитической установке для исследования процессов в условиях повышенных давлений проводился процесс гидроочистки дизельного топлива с общим содержанием серы 1,043 % масс.. Гидроочистку проводили на катализаторе, загружаемом объемом 10 мл в реактор с размером гранул 0,5-2 мм ( $m_{кат} = 5,707$  г).

Перед применением катализатор подвергали сульфидированию непосредственно в реакторе, применяя для этого прямогонную дизельную фракцию, содержащую 0,4 % сульфидной серы. Сульфидирование проводили по следующей методике:

- сушка катализатора в потоке азота при температуре 120 °C;
- подача водорода;
- повышение давления в реакторе до 3,2 Мпа;
- смачивание катализатора сырьем;
- увеличение температуры в реакторе до 240 °C со скоростью 1°С/мин
- сульфидирование при 240 °C в течении 2 ч (низкотемпературная стадия)

- повышение температуры до 340 °С

сульфидирование при 340 °С в течении 2 ч (высокотемпературная стадия).

Сульфидирующая смесь подавали с объемной скоростью 2 ч<sup>-1</sup> при соотношении  $H_2/\text{сырьё} = 600/1$ .

Для предварительного смачивания катализатора и более равномерного распределения сульфидирующего агента по слою катализатора используется дизельная фракция. Предварительно сульфидированный катализатор не только обладает высокой активностью, меньшей склонностью к коксообразованию, но и обладает вдвое большим сроком межрегенерационного цикла. [4]

Сырьё и водород поступали в реактор сверху вниз: дизельную фракцию подавали жидкостным дозировочным насосом; подачу водорода регулировали автоматическим дозатором. Однозонная электрическая печь обеспечивает обогрев реактора, она же позволяет поддерживать температуру по слою катализатора с погрешностью  $\pm 5$  °С. Для измерения температуры в слое катализатора использована контролирующая термопара. Давление в системе устанавливалось с помощью регулятора давления и контролировалось по показаниям образцового манометра.

Продукты реакции поступали в прямоточный холодильник. После разделения продуктов, в сепараторе высокого давления жидкие продукты реакции собирались на анализ путем слива в приемник. Газообразные продукты через боковой штуцер, клапан запорный КЗ.2, редуктор обратного давления РДС в вытяжную вентиляцию и в атмосферу.

Условия проведения процесса гидроочистки:

- Температура 340 °С, 360 °С и 380 °С
- Давление водорода 3,2 МПа;
- Отношение  $H_2:\text{сырьё} = 600:1$ ;
- Скорость подачи водорода 2 мл/с;

- Объёмная скорость подачи сырья 0,2 мл/мин;
- Массадкatalизатора 5,0г;
- Размер частиц катализатора от 0,5 до 2 мм.

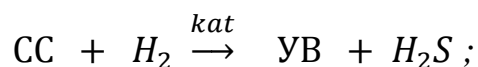
После завершения процесса гидроочистки отбирали полученный гидрогенизат для дальнейшего анализа. Для определения концентрации серы в исходном дизельном топливе и гидрогенизате использовали спекрометр SPECTROSKAN-S.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1 Кинетическая модель процесса десульфирования дизельного топлива

Разрушение молекул по связи C–S с одновременным насыщением водородом и образованием соответствующего углеводорода и сероводорода протекает при гидрировании в большом избытке водорода. Допустим, что реакции протекают в кинетической области, тогда можно расписать скорости химических реакций по закону действующих масс, который гласит, что скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению константы скорости на концентрации исходных веществ в степенях их стехиометрических коэффициентов, где в качестве исходных компонентов выступают соответствующее СС, подвергающееся гидрированию, и водород.

Упрощенно реакция гидроочистки сернистых соединений с образованием сероводорода и углеводородов выглядит следующим образом:



Где СС- суммарное содержание сернистых соединений

УВ – углевородные соединения

Были рассчитаны константы скорости гидрирования на катализаторе ГДК-202 для идентифицированных сернистых соединений, на основании предположения о псевдопервом порядке реакции гидрообессеривания .

(1)Для того чтобы рассчитать константу скорости реакции использовали кинетическое уравнение для реакций первого порядка в логарифмическом виде.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k \cdot \tau ;$$

где с – содержание серы в гидрогенизате, % мас.; с0 – содержание серы в дизельной фракции, % мас.; k – константа скорости реакции превращения индивидуального СС, с-1;  $\tau$  – время контакта  $\tau = \frac{V_{kat}}{v_{сырья}}$ , сек. По данным

изменения содержания общей серы были рассчитаны константа скорости и коэффициент гидроочистки.

$$\alpha_{\text{гидроочистки}} = \frac{S_{\text{общ, нач.}} - S_{\text{общ, кон.}}}{S_{\text{общ, нач.}}} * 100\% ;$$

Данные расчетов представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Изменение общей серы и константы скорости при T=340 °C

Время процесса, ч	Собщ, % масс	k, ч <sup>-1</sup>	$\alpha_{\text{гидроочистки}}$ , %
0	1,043	-	-
2	0,095	7,26	90,9
4	0,094	7,29	91,0
6	0,079	7,82	92,4
8	0,076	7,94	92,7

Таблица 2. Изменение общей серы и константы скорости при T=360 °C

Время процесса, ч	Собщ, % масс	k, ч <sup>-1</sup>	$\alpha_{\text{гидроочистки}}$ , %
0	1,043	-	-
2	0,091	7,39	91,3
4	0,087	7,53	91,7
6	0,075	7,98	92,8
8	0,068	8,27	93,5

Таблица 3. Изменение общей серы и константы скорости при  $T=380\text{ }^{\circ}\text{C}$

Время процесса, ч	Собщ, % масс	$k, \text{ч}^{-1}$	$\alpha_{\text{гидроочистки}}, \%$
0	1,043	-	-
2	0,094	7,29	91,0
4	0,079	7,82	92,4
6	0,070	8,19	93,3
8	0,060	8,65	94,2

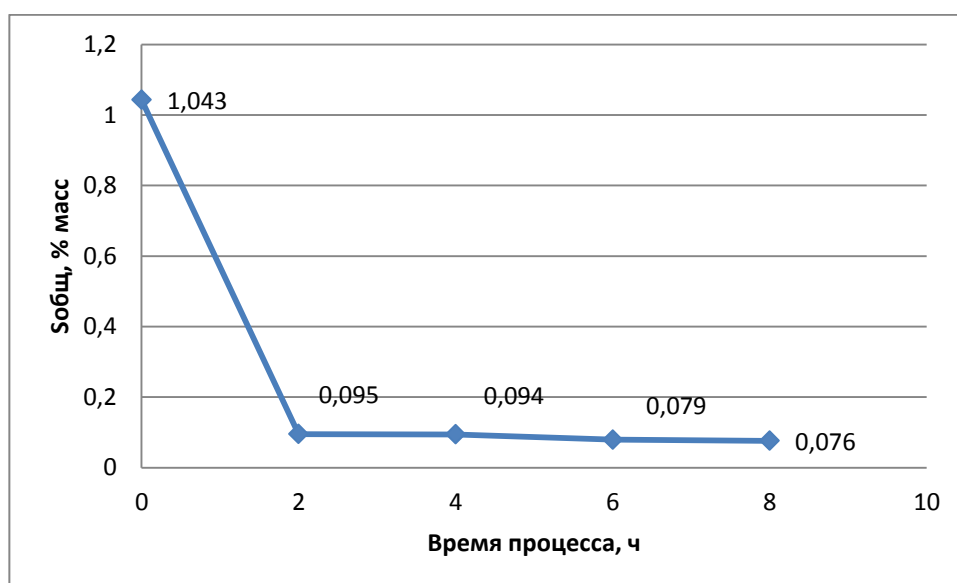


Рисунок 1. Зависимость общего содержания серы от времени процесса при  $T=340\text{ }^{\circ}\text{C}$

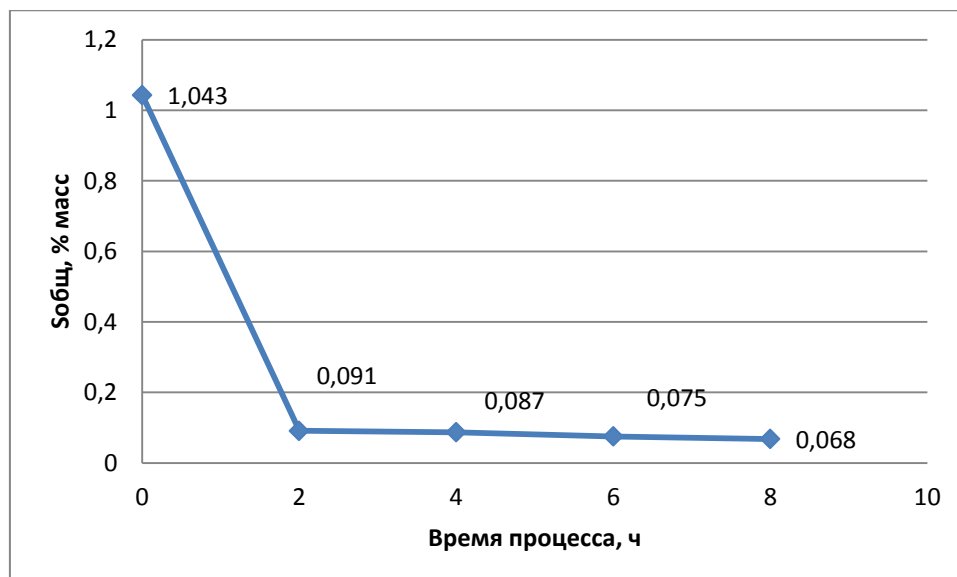


Рисунок 1. Зависимость общего содержания серы от времени процесса при  $T=360\text{ }^{\circ}\text{C}$

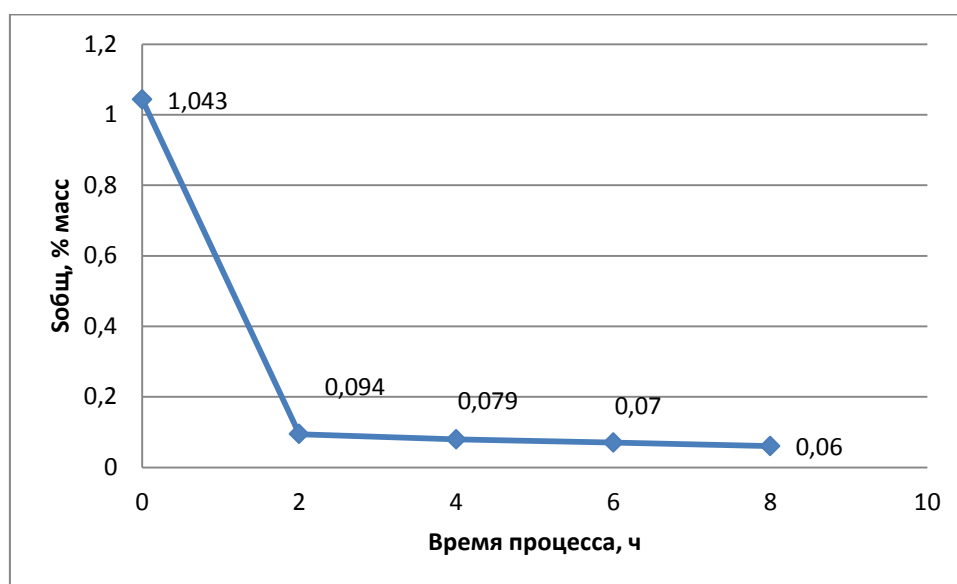


Рисунок 1. Зависимость общего содержания серы от времени процесса при  $T=380\text{ }^{\circ}\text{C}$

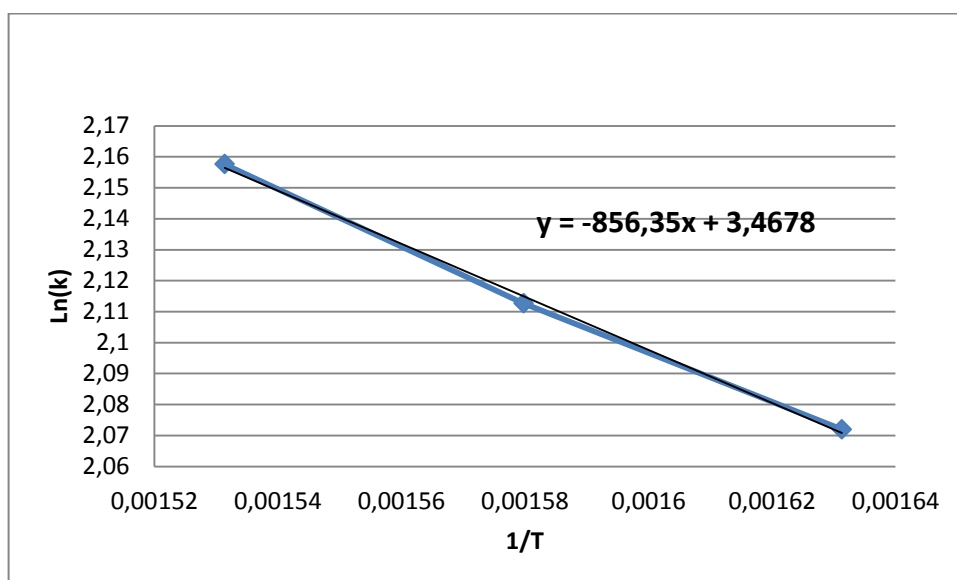
Результаты расчета константы скорости при различных температурах процесса и изменения общей серы в процессе гидроочистки в зависимости от времени приведены в таблицах 2,3,4. Основываясь на результаты расчетов можно сделать вывод, что с увеличением температуры процесса и времени проведения процесса константа скорости увеличивается, а значит процесс

гидроочистки проходит глубже. Реакции деструктивной гидрогенизации интенсифицируются при повышении температуры процесса выше 400 °С, что приводит к увеличению отложения кокса на катализаторе и снижению выхода жидких продуктов [2].

Для определения энергии активации по данным была построена температурная зависимость (рисунок 2). Тангенс угла наклона прямой равен отношению энергии активации к величине газовой постоянной. Следовательно, энергия активации вычисляется по формуле:

$$E_a = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

где  $R=8,31$  Дж/(моль К).



Зависимость константы скорости от температуры

Величина энергии активации серосодержащих компонентов, при использовании катализатора ГДК-202 гидрообессеривания составила 71,2 кДж/моль.



## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность**

### **4.1. Введение**

Гидроочистка – один из наиболее распространённых процессов нефтепереработки и применяется практически на любом нефтеперерабатывающем заводе.

Данная работа отличается высокой ресурсоэффективностью и её спонсирование является выгодным финансовым вложением в связи с возрастающей ролью процессов гидроочистки в нефтеперерабатывающей промышленности, так как сегодня в данной области назревает необходимость разработки программных комплексов, реализующих математическую модель гидроочистки.

В рамках данной научно-исследовательской работы на основе существующих представлений о процессе гидроочистки разрабатываются алгоритмы расчета выхода продуктов в зависимости от состава сырья, температуры, давления и других параметров. В дополнение к этому возможен расчёт активности катализатора и прогнозирование его работы. Создается программа, реализующая данные алгоритмы, и, тем самым, позволяющая подобрать оптимальные условия работы реактора гидроочистки, а также изучить свойства и эффективность различных катализаторов в тех или иных условиях. Не исключается возможность внедрения готовой компьютерной моделирующей системы в реальное производство в будущем.

С точки зрения инновационных тенденций в развитии науки и техники в Российской Федерации финансирование данного проекта является выгодной инвестицией в благополучное развитие страны. Данный проект поспособствует ускоренному восстановлению высочайшего статуса инженерных решений и позволит внедрить конкурентоспособные

инновационные технологии, и, таким образом, повысить престиж Российской Федерации на общемировой научно-технической арене.

4.2. Предпроектный анализ

4.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование .

Продукт: математическая модель процесса гидроочистки дизельного топлива

Целевой рынок: промышленные предприятия нефтеперерабатывающей отрасли

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

		Стадии разработки математической модели			
		Анализ производства	Разработка кинетической модели	Разработка математической модели	Разработка программного обеспечения
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Фирма А      Фирма Б      Фирма В     

Рисунок 4.1 - Сегментирование рынка разработок в области математического моделирования гидроочистки дизельного топлива

#### 4.2.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Таблица 3.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
6. Потребность в ресурсах памяти	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,03	3	5	5	0,09	0,15	0,15
7. Срок выхода на рынок	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>63</b>	<b>54</b>	<b>51</b>	<b>4,56</b>	<b>3,71</b>	<b>3,5</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя

$K$  конкурентным преимуществам производимого продукта, можно отнести: высокое качество продукта, простота эксплуатации, сокращение производственного цикла, высокую конкурентоспособность продукта и уровень проникновения на рынок. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

#### **4.2.3. SWOT-анализ**

SWOT представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться. Он проводится в несколько этапов.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2 - SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Потенциальная экономичность и энергоэффективность С2. Потенциал для повышения экологичности производства С3. Возможность ускорить разработку новых катализаторов С4. Обеспечение безопасности производства С5. Обучение персонала предприятия принципам процесса С6. Государственная регистрация программы	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Недостаточная точность расчётов Сл2. Неподтверждённая некоторых теоретических обоснований. Сл3. Отсутствие исчерпывающих данных для проверки адекватности модели Сл4. Отсутствие образцов катализатора для проведения реального эксперимента Сл5. Отсутствие необходимого оборудования для испытания исследуемых катализаторов
1	2	3
<b>Возможности :</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение таможенных пошлин на сырьё и материалы, используемые при научных исследованиях	<b>С и В:</b> 1. Разработка математической модели, позволяющей наиболее быстро рассчитать технологические параметры процесса гидроочистки дизельного топлива и выхода продуктов 2. Анализ производительности различных катализаторов, используемых в этом процессе. 3. Ускорение в сфере научно-технических инноваций, способствующих улучшению	<b>Сл и В:</b> 1. Помощь специалистов и оборудования ТПУ в совершенствовании продукта 2. Должно понадобится спонсирование проекта 3. Дешевизна проекта может оказаться сильной стороной

Продолжение Таблицы 4.2

В4. Повышение стоимости конкурентных разработок	экологической ситуации и потребительских качеств продукта.	
1	2	3
<b>Угрозы :</b> У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства У2.Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	С и У: 1.Продвижение программы с целью создания спроса 2.Создание конкурентных преимуществ готового продукта 3. Поиск запасных источников финансирования, спонсоров в лице нефтеперерабатывающих предприятий, для которых может оказаться полезной данная разработка	Сл и У: 1.Необходима дальнейшая разработка модели и её уточнение 2. Дальнейший поиск теоретических законов из независимостей, позволяющих повысить обоснованность модели 3. Заключение договорённостей с предприятиями о поставке данных для проверки модели 4. Заключение договорённостей о поставках катализатора для анализа 5. Приобретение необходимого оборудования для проведения испытаний опытного образца

#### 4.2.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 4.3 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	5
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	4
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3

Разработан бизнес -план коммерциализации научной разработки	2	2
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	5
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
ИТОГО БАЛЛОВ	36	51

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Значение степени проработанности научного проекта составило 38, что говорит о средней перспективности. Значение уровня имеющихся знаний у разработчика составило 49 баллов, т. е. перспективность выше среднего.

#### **4.2.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Методом коммерциализации научной разработки был выбран инжиниринг. Данный метод как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой

заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

### 4.3. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Таблица 4.4 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка математической модели для анализа технологии установки гидроочистки дизельного топлива с целью получения готового продукта с конкурентными преимуществами с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и инжиниринговой услугой
Ожидаемые результаты проекта:	Совершенствование модели и ПО
Критерии приемки результата проекта:	Применимость прогнозов по работе реактора и катализатора, адекватность результатов

#### 4.3.1. Организационная структура проекта

Таблица 4.5 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Кривцова Надежда Игоревна, НИ ТПУ,	Руководитель	Координация деятельности	100



Продолжение таблицы 4.5

	кафедра ХТТ и ХК, к. т. н.		проекта	
2	Сабиев Шынгыс Мусаевич НИ ТПУ, кафедра ХТТ и ХК, бакалавр	Исполнитель	Выполнение НИР	400
ИТОГО:				500

#### 4.4. Планирование научно-исследовательских работ

##### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов проведения работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждения технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Руководитель
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, Бакалавр
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Бакалавр

Продолжение Таблицы 4.6

	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Бакалавр
Проведение ОКР			Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Бакалавр
	11	Оценка эффективности производства	Бакалавр
	12	Сбор информации по охране труда	Бакалавр
	13	Оформление результатов по охране труда	Бакалавр
	14	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Бакалавр
	15	Оформление экономической части работы	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	16	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр
	17	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	18	Предзащита	Бакалавр, Руководитель,
	19	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	20	Защита дипломной работы	Бакалавр, Руководитель

#### 4.4.2. План проекта

Таблица 4.7 - Календарный план проекта

Название	Время, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Изучение литературы, составление литературного обзора	45	15.01	12.03	Сабиев Шынгыс Мусаевич, Кривцова Надежда Игоревна
Расчет на математической модели	10	13.03	23.03	Сабиев Шынгыс Мусаевич, Кривцова Надежда Игоревна
Обсуждение полученных результатов	10	24.03	04.04	Сабиев Шынгыс Мусаевич, Кривцова Надежда Игоревна
Оформление выводов	20	05.04	25.04	Сабиев Шынгыс Мусаевич, Кривцова Надежда Игоревна
Оформление пояснительной записки	45	15.04	31.05	Сабиев Шынгыс Мусаевич, Кривцова Надежда Игоревна
<b>И т о г о:</b>	130	15.01	31.05	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

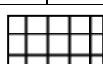
На основе табл. 4.7 построен календарный план-график (табл.4.8) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 4.8 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал,дн.	Продолжительность выполнения работ														
			янв		февр			март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Изучение литературы, составление литературного обзора	Магистрант, руководитель	45															
Расчет на математической модели	Магистрант, руководитель	15															
Обсуждение полученных результатов	Магистрант, руководитель	11															
Оформление выводов	Магистрант, руководитель	20															
Оформление пояснительной записки	Магистрант, руководитель	45															



– бакалавр;



– руководитель

#### 4.4.3. Бюджет научного исследования

##### Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.3)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, отражены в таблице 4.9

Таблица 4.9 - Расчет затрат на сырье

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерений	Расход	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
1	Дизельное топливо	л	1,5	32	48
2	Толуол	л	0,6	69	41,4
3	Гексан	л	1	480	480
4	Бензол	л	0,8	478	382,4
Итого					951,8

#### **Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.10

Таблица 4.10- Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Мощность электроприбор, кВт	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Аналитические весы	1	15000		15000
2	Бюретка 50 мл	2	468		936
3	Сушильный шкаф	1	13000	2	13000
4	Колба 250 мл	2	92		184

Продолжение таблицы 4.10

5	Мерный цилиндр 100мл	1	88		88
6	Капельная воронка	1	450		450
7	Пипетка градуированная 10 мл	1	165		165
8	Муфельная печь	1	40000	2,2	4000
9	Мерный стакан 100 мл	2	34		68
10	Стеклянная пробка	4	34		136
11.	Компьютер	1	15332		15332
Итого:					49359

### Расчет затрат на электроэнергию

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} \quad (4.4)$$

Где  $N_i$  - мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{\text{э}}$  - время использования электрооборудования, час;

$C_{\text{э}}$  - цена одного кВт\*ч, руб.

$C_{\text{э}} - 2,1 \text{ руб/ кВт*ч}$

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} = 310,35$$

### Расчет заработной платы исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 10 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (4.5)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (4.6)$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.7)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,07%)

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.11

Таблица 4.11 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Основная заработная плата			Дополнительная заработная плата, руб.
	Трудоемкость, чел.-дн. Тр	Заработная плата приходящаяся на один чел.-дн. Руб/дн	Месячная зарплата, руб./мес.	
Руководитель	21	1500	31500	2205
Бакалавр	80		2500	
Итого		34000		2205
Расходы по заработной плате исполнителей темы				36205

#### 4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.8)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме, таблица 4.12

Таблица 4.12-Социальные отчисления и дополнительная заработная плата

Исполнитель	Заработная плата исполнителей темы	Социальные отчисления				
		ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)	Итого
Руководитель проекта	31500	7415,1	977,5	1718,9	168,5	10280,0
Итого						10280

#### 4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 18%.

#### 4.7 Формирование бюджета затрат научно исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной



организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Текущий проект	Аналог1	Аналог2
1. Материальные затраты НТИ (Сырье )	951,8	800	1500
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	49359	45593	61495
3. Затраты на электроэнергию	310,35	400	500
4. Затраты по заработной плате исполнителей темы	36205	35820	48450
5. Социальные отчисления	10280	10640	12000
6. Накладные расходы	1500	1000	2000
7. Бюджет затрат НТИ	98606,15	94253	125945

#### **4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

##### **4.8.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**

Для определения эффективности нужно интегральный показатель эффективности научного исследования. Для этого надо найти две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за

базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.10)$$

где  $I_{\Phi}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i – го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Для нашей разработки:  $I_{\Phi}^p = \frac{98606,15}{125945} = 0,78$

Для первого аналога:  $I_{\Phi}^{a1} = \frac{94253}{125945} = 0,75$

Для второго аналога:  $I_{\Phi}^{a2} = \frac{125945}{125945} = 1$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.11)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов ;  $a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – балльная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 4.14 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения  
проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей )	0,15	4	4	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	3
4. Энергосбережение	0,20	5	4	2
5. Надежность	0,25	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	1	2	3
ИТОГО	1	25	22	20

$$I_m^p = 4,25$$

$$I_1^A = 3,95$$

$$I_2^A = 3,3$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,25}{0,78} = 5,45$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{3,95}{0,75} = 5,26$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,3}{1} = 3,3$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{5,45}{5,26} = 1,04$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{5,45}{3,3} = 1,65$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{m\pi}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{m\pi}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.15 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,78	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,95	4,25	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,26	5,45	3,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,04		1,65

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

## Приложение А - Технологическая схема Омского НПК

